Journal of Iranian Plant Protection Research

https://jpp.um.ac.ir

Research Article
Vol. 36, No. 1, Spring 2022, p. 109-123

Effect of Water Hardness on the Mixture of Nicosulforun and 2,4-D Herbicides Performance on Velvetleaf (*Abutilon theopharesti*) Control

D. Bashashati[1], K. Hajmohammadnia Ghalibaf [2*], M. Rastgoo [3]

Received: 06-03-2021
Revised: 03-04-2021
Accepted: 19-05-2021
Available Online: 20-06-2022

How to cite this article:
Bashashati, D., Hajmohammadnia Ghalibaf, K., & Rastgoo, M. (2022). Effect of Water Hardness on the Mixture of Nicosulforun and 2,4-D Herbicides Performance on Velvetleaf (*Abutilon theopharesti*) Control. *Journal of Iranian Plant Protection Research 36*(1): 109-123. (In Persian with English abstract)
DOI: 10.22067/JPP.2021.68513.1007

Introduction

Water is the primary carrier for herbicide applications (it usually makes up about 99% of the spray solution) and deliver them to the target weeds that they are intended to control. The quality of water available for spraying will depend on the source of the water on the vineyard, eg. dam or channel. Many chemical elements can be dissolved in water but six major ions make up the dissolved material in most water: Calcium (Ca^{++}), Magnesium (Mg^{++}), Sodium (Na^{+}), Sulfate (SO^{4-}), Chloride (Cl^{-}), and Bicarbonate (HCO_3^{-}). Hard water becomes “hard” because of the presence of carbonates, sulfates, and chlorides of calcium, magnesium, and iron. Water containing calcium and magnesium can reduce the effectiveness of post-emergence herbicides that are weak acids include glyphosate (Roundup), paraquat (Gramaxone), bentazon (Basagran), clethodim (Envoy), sethoxydim (Poast), nicosulforun (Cruise) and 2,4-D (many products).

Nicosulfuron is a post-emergence sulfonylurea herbicide that act through inhibition of acetolactate synthase (ALS) and controls many difficult-to-manage monocotyledonous weeds at low rates in corn. Also, 2,4-D is a selective herbicide from the group of auxin-like herbicides that act systematically to control broadleaf weeds in cereals. "Mixing herbicides" can be used to reduce the effect of hardness factors in the water carrying herbicides. The purpose of a good mix is to increase the effect of the compound on weeds without damaging the crop. The primary reasons that herbicides are mixed are to improve bioactivity and reduce costs. Therefore, the application of mixing reduces labor costs, the number of crossings across the farm, equipment depreciation, and mechanical damage to the crop and soil. Interactions of two herbicides can occur in three ways: each herbicide has an independent mode of action (additive effect); one herbicide reduces the action of another herbicide (antagonism), and one herbicide increases the presence of another herbicide (synergism). The question is whether the synergistic effects that occur in some conditions in the mixing of two herbicides can be used to reduce the negative effects of hard water on the performance of hard water sensitive herbicides? Therefore, this study was conducted to evaluate the effect of water hardness on the efficacy of nicosulfuron and 2,4-D tank mixing on the control of velvetleaf (*Abutilon theophrastis* Medicus.).

Materials and Methods

The effect of mixing nicosulfuron (Cruse- OD4%) and 2,4-D amine (U46- SL72%) herbicides on velvetleaf (*Abutilon theophrastis* Medicus.) weed control in the presence of hard agents carried out as factorial arrangement based on randomized complete block design with three replications at the Research Greenhouse of Ferdowsi University of Mashhad in 2019. The first factor of water hardness applied in four levels including deionized water (non-hard), 0.1 M concentrations of $CaCl_2$, $MgCl_2$, $FeCl_3$ salts (Merck, Darmstadt, Germany). The second factor was mixing nicosulfuron and 2,4-D amine herbicides as 6.25, 12.5, 25, 50 and 100% of the recommended dose. The mixing ratios were (0:100), (25:75), (50:50), (75:25) and (100: 0). In addition, 10 pots were considered as control without spraying.

1, 2 and 3- Graduated M.Sc, Assistant Professor and Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, University of Ferdowsi Mashhad, Mashhad, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: hajmohamadnia@um.ac.ir)

Velvetleaf seeds were collected from a heavily infested corn fields in Mashhad, Khorasan Razavi province in northeastern part of Iran. To obtain uniform seedlings, seeds were treated by sulfuric acid 98% during 1 min. Seven seeds pre-germinated in petri dishes were transplanted at 1 cm deep in 1 L plastic pots in a mixture of soil, sand and cocopeat (1 : 1 : 1 wt ⁄ wt ⁄ wt) containing all necessary macro- and micronutrients. The pots were kept in a greenhouse at natural daylength and a temperature around 25°C during the day. The pots were sub-irrigated daily. Prior to herbicide application, plants were thinned to five uniformly sized plants per pot.

The herbicide solutions were applied at the 3-4 leaf stage of the weed using a cabinet sprayer equipped with a flat fan nozzle (No.11004) delivering a spray volume of 390 Lha-1. A four-parameter log-logistic model (equation 1) was fitted to the data using the open-source statistical software R 2.6.2 and the *drc* statistical addition package.

$$Y=c+[d-c/1+\exp[b(\log x-\log e)]] \quad (1)$$

where Y is the response expressed as percentage of the untreated control, c and d are the responses at very high and very low herbicide rates, respectively, b is the slope of the curve around the point of inflection, and e is the herbicide rate giving response halfway between d and c (= ED_{50}). If c = 0, then the four-parameter model reduces to the three-parameter model (equation 2), with the lower limit being zero.

$$Y=d/1+\exp[b(\log x - \log e)] \quad (2)$$

Results and Discussion

The results showed that the net effects of herbicides were affected by hard water factors such as calcium, magnesium and iron III chloride. Besides, their efficiency in controlling biomass, survival percentage and height of velvetleaf were decreased. The inhibitory effect of hardness factors on herbicide performance was different. Calcium chloride and magnesium chloride had the highest reduction effect on nicosulfuron and 2,4-D amine, respectively. Therefore, to reduce the effect of water hardness factors, two herbicides were evaluated by mixing. The results indicated that the type of effect on herbicide mixing in biomass control of velvetleaf was synergistic, and reduced antagonistic effect of water hardness factors. Equal proportions of both herbicides in reducing the effect of calcium chloride and iron III chlorides, high ratio of nicosulfuron in reducing the effect of magnesium chloride, had the best performance in controlling the biomass of velvetleaf. Therefore, depending on the salts involved in the water hardness of the sprayer tank, changing the mixing ratio of the two herbicides nicosulfuron and 2,4-D amine can be achieved the best performance control of velvetleaf.

Keywords: Antagonism; Additive effect, Hard water, Isobole curves, Synergism

نشریه پژوهش‌های حفاظت گیاهان ایران
https://jpp.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۶، شماره ۱، بهار ۱۴۰۱، ص ۱۲۳-۱۰۹

بررسی تأثیر سختی آب بر کارایی اختلاط علف‌کش‌های نیکوسولفورون و توفوردی روی کنترل علف هرز گاوپنبه (*Abutilon theophrasti*)

داود بشاشتی[۱] -کمال حاج محمدنیا قالی‌باف[۲*]- مهدی راستگو[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۲۹

چکیده

به منظور ارزیابی اثر اختلاط علف‌کش‌های نیکوسولفورون و توفوردی در حضور عوامل سختی بر روی علف هرز گاوپنبه، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۹۸ انجام شد. در این آزمایش، عامل اول سختی آب مخزن سمپاش در ۴ سطح شامل آب دیونیزه (غیرسخت)، غلظت‌های ۰/۱ مولار از کلرورهای کلسیم، منیزیم و آهن III و عامل دوم اختلاط نیکوسولفورون و توفوردی آمین در دُزهای ۶/۲۵، ۱۲/۵، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ درصد نسبت به دُز توصیه شده، در نسبت‌های اختلاط (۰:۱۰۰)، (۲۵:۷۵)، (۵۰:۵۰)، (۷۵:۲۵) و (۱۰۰:۰) بود. نتایج نشان داد که اثر خالص علف‌کش‌ها تحت تأثیر عوامل سختی کلرور کلسیم، کلرور منیزیم و کلرور آهن قرار گرفت و کارایی آن‌ها در کنترل زیست توده، درصد بقاء و ارتفاع بوته گاوپنبه کاهش یافت. اثر بازدارندگی عوامل سختی بر کارایی علف‌کش‌ها متفاوت بود، به طوری‌که در نیکوسولفورون و توفوردی آمین به ترتیب کلرور کلسیم و کلرور منیزیم با ۲/۰۷ و ۱/۸۳ برابر نسبت به آب بدون سختی، بیش‌ترین کاهندگی را داشتند. لذا برای کاهش اثر عوامل سختی، دو علف‌کش به صورت اختلاط مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که نوع اثر در اختلاط علف‌کش‌ها در کنترل زیست توده گاوپنبه از نوع هم‌افزایی بوده و اثر هم‌کاهی عوامل سختی آب را کاهش دادند. نسبت برابر از هر دو علف‌کش در کاهش اثر کلرور کلسیم، نسبت بالای نیکوسولفورون در کاهش اثر کلرور منیزیم و نسبت بالای توفوردی آمین برای کاهش اثر هم‌کاهی کلرور آهن III، بهترین کارایی را در کنترل گاوپنبه نشان دادند. بنابراین، بسته به نوع نمک‌های دخیل در سختی آب مخزن سمپاش، با تغییر نسبت اختلاط دو علف‌کش نیکوسولفورون و توفوردی آمین، می‌توان بهترین کارایی کنترل علف هرز گاوپنبه را رقم زد.

واژه‌های کلیدی: آب سخت، اثر افزایشی، منحنی‌های آیزوبول، هم‌افزایی، هم‌کاهی

مقدمه

آب‌های جاری با عبور از میان خاک‌ها و سنگ‌ها، مواد طبیعی را در خود حل کرده و به ذخایر آب‌های زیرزمینی منتقل می‌کنند و به دلیل دسترسی، کشاورزان از این منبع به عنوان حامل علف‌کش استفاده می‌کنند (Heidekamp and Lemley, 2005). سختی آب به عنوان مقدار کاتیون‌های موجود در آب تعریف شده و به عنوان معادل کربنات کلسیم ($CaCO_3$) بیان می‌شود (Boyd, 2019). سختی به مواد معدنی حل شده شامل یون‌های کلسیم (Ca^{2+})، منیزیم (Mg^{2+})، آهن (Fe^{2+} یا Fe^{3+})، روی (Zn^{2+})، آلومینیوم (Al^{3+})، سدیم (Na^{+})، پتاسیم (K^{+}) و در برخی موارد منگنز (Mn^{2+}) گفته می‌شود (Petroff, 2000). بنابراین، سختی آب، pH، میزان یون بی‌کربنات، کِدِر بودن آب و موقعیت و منبع جغرافیایی جنبه‌های مهم کیفیت آب است که کارایی علف‌کش را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Green and Hale, 2005; Devkota *et al.*, 2016). سختی آب باعث اتّصال مواد معدنی به مولکول علف‌کش می‌شود و رسوب کریستالی مواد معدنی با علف‌کش در سطح برگ ایجاد می‌کند که باعث کاهش نفوذ علف‌کش به برگ می‌شود (Devkota, 2017). چرا که کاتیون‌های آب سخت (Ca^{2+}، Mg^{2+}) و سایر کاتیون‌ها (Zn^{2+}

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم علف‌های هرز، استادیار و استاد گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: hajmohamadnia@um.ac.ir)
DOI: 10.22067/JPP.2021.68513.1007

، Mn^{2+}، Al^{3+}، Na^{+}) با علف‌کش‌های اسیدی ضعیف به هم متّصل می‌شوند، و یک کمپلکس علف‌کش- نمک را تشکیل می‌دهند که علف‌کش‌ها را غیرفعّال می‌کند (Scroggs *et al*., 2009).

پارامترهای کیفیت آب، مانند pH و سختی، بر کارایی علف‌کش‌های اسید ضعیف تأثیر می‌گذارند (Devkota and Johnson, 2019; Roskamp *et al*., 2013). بالا بودن سختی (بویژه عناصر منیزیم و کلسیم)، اسیدیته بالا، وجود مواد آلی (کدورت آب)[1] و بی‌کربنات‌ها در آب برخی از نقاط باعث کاهش معنی‌دار کارایی علف‌کش‌هایی نظیر توفوردی[2] و گلایفوسیت[3] و در نتیجه باعث افزایش مصرف آن‌ها شده است. به طوری که در pH=۴، ۸ درصد کنترل بیش‌تر بر علف اسب (*Conyza canadensis*) و تاج خروس پالمر (*Amaranthus palmeri*) در مقایسه با pH= ۹ داشت، منیزیم نیز کارایی این دو علف‌کش را در کنترل علف اسب و تاج خروس پالمر به ترتیب ۸ و ۱۳ درصد کاهش داد (Devkota and Johnson, 2019). اگر مجموع غلظت چهار عنصر کلسیم، منیزیم، آهن و سدیم در آب از ۴۰۰ قسمت در میلیون (پی‌پی‌ام) تجاوز کند، بایستی از مخلوط کردن علف‌کش با آن جدا خودداری شود (Petroff, 2000). چرا که این یون‌های دارای بار مثبت، توانایی برقرار کردن پیوند با مولکول‌های علف‌کش دارای بار منفی را داشته و در نتیجه از کارایی، جذب و انتقال آن‌ها جلوگیری می‌نمایند (Holm *et al*., 1994). pH آب (اسیدی و قلیایی) می‌تواند با تأثیر بر حلالیت و ثبات مولکول فعال، اثر منفی بر عملکرد علف‌کش داشته باشد. بنابراین، بسته به شیمی علف‌کش، آب حامل اسیدی یا قلیایی می‌تواند کارایی علف‌کش را تحت تأثیر قرار دهد (Devkota *et al*., 2016).

علف کش نیکوسولفورون از خانواده سولفونیل‌اوره‌ها و یک مهارکننده آنزیم استولاکتات سینتاز (ALS) است که برای کنترل علف‌های هرز در ذرّت (*Zea mays* L.) با موفقیت استفاده می‌شود (Senseman, 2007). توفوردی نیز یک علف کش انتخابی و از گروه علف‌کش‌های شبه اکسینی است که به صورت سیستمیک جهت کنترل علف های هرز پهن برگ در غلّات استفاده می‌شود (Peterson *et al*., 2016). بر اساس بررسی‌های براون (Brown, 2001) و پتروف (Petroff, 2000)، اگر غلظت یون بی‌کربنات (HCO_3^-) در آب از ۵۰۰ پی‌پی‌ام تجاوز نماید، فعالیت برخی علف‌کش‌ها نظیر گلایفوسیت و توفوردی کاهش می‌یابد و بایستی از مصرف و مخلوط کردن چنین آبی با علف‌کش اجتناب کرد، زیرا کارایی علف‌کش‌هایی مانند فرم آمینی توفوردی را کاهش می‌دهند (Holm *et al*., 1994).

با توجه به بروز اثرات هم افزایی در برخی از شرایط اختلاط علف کش ها شاید بتوان از این هم افزایی در جهت کاهش اثر عوامل سختی موجود در آب حامل علف‌کش‌ها بهره برد. هدف از مخلوط مناسب این است که تأثیر ترکیب بر روی علف‌های هرز افزایش یابد، بدون اینکه صدمه‌ای به محصول زراعی بزند (Streibig *et al*., 1998). دلایل اولیه این‌که علف‌کش‌ها مخلوط می‌شوند، بهبود نمود زیستی و کاهش هزینه‌هاست. همچنین کاربرد اختلاط موجب کاهش هزینه‌های کارگری و کاهش در تعداد عبور از عرض مزرعه، کاهش استهلاک تجهیزات، خسارت مکانیکی به محصول و خاک می‌شود (Streibig *et al*., 1998). اثرات متقابل دو علف‌کش به سه صورت می‌تواند رخ دهد، اول اینکه هر یک علف‌کش‌ها نحوه عمل مستقل داشته باشند (اثر افزایشی)، دوم اینکه یک علف‌کش باعث کاهش عمل علف‌کش دیگر می‌شود (هم‌کاهی) و سوم یعنی اینکه یک علف‌کش باعث افزایش کارایی علف‌کش دیگر (هم‌افزایی) می‌شود (Jensen and Caseley, 1990).

گاوپنبه (*Abutilon theophrasti* Medicus) در بیش‌تر کشورهای آمریکای شمالی، اروپا، آسیا و آفریقا شناخته شده است و اولین منشاء آن در چین بوده و به عنوان گیاه لیفی کشت می‌شد (Warwick and Black, 1988). این گیاه در قرن ۱۸ میلادی از چین به آمریکای شمالی معرفی شد و اکنون تبدیل به علف هرز پهن برگ مهم به خصوص در مزارع ذرّت، سویا (*Glycine max* (L.) Merr)، همچنین پنبه (*Gossypium hirsutum*)، چغندرقند (*Beta vulgaris*)، توتون (*Nicotiana tabacum*) و گاهی باغات مطرح شده است (Spencer, 1984; Owen and Zelaya, 2005).

سوالی که مطرح است این است که آیا می‌توان از اثرات هم‌افزایی که در برخی شرایط در اختلاط دو علف‌کش بروز می‌کند، در جهت کاهش اثرات منفی آب سخت بر کارایی علف‌کش‌های حساس به آب سخت، استفاده کرد؟ بر این اساس، این پژوهش با هدف ارزیابی تأثیر سختی آب بر کارایی اختلاط نیکوسولفورون و توفوردی روی کنترل علف هرز گاوپنبه انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با ۳ تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۹۸ انجام شد. عامل اول سختی آب در ۴ سطح شامل آب دیونیزه (غیرسخت)، غلظت‌های ۰/۱ مولار از نمک‌های کلرورهای کلسیم، منیزیم و آهن III و عامل دوم اختلاط نیکوسولفورون (کروز ۴OD٪) تولید شرکت آریا شیمی و توفوردی آمین (یو۴۶-۷۲SL٪) تولید شرکت اتول هند، در دُزهای ۶/۲۵، ۱۲/۵، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ درصد نسبت به دُز توصیه شده، در نسبت‌های اختلاط (۰:۱۰۰)، (۲۵:۷۵)، (۵۰:۵۰)، (۷۵:۲۵) و (۱۰۰:۰) بود. علاوه بر این، ۱۰ گلدان نیز به عنوان شاهد بدون پاشش در نظر گرفته شد. جهت تهیه محلول‌های

1- Turbidity
2- 2,4-Dicholorophenoxy acetic acid
3- Glyphosate (Roundup)

آزمایشی ابتدا توفوردی بدون اختلاط در دُزهای ۶/۲۵، ۱۲/۵، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ درصد نسبت به دُز توصیه شده، در ۵ بطری افـزوده شـد. در ۵ بطری دوم نسبت اختلاط (۷۵٪ توفـوردی : ۲۵٪ نیکوسـولفورون) در پنج دُز ذکر شده افزوده شد، در ۵ بطری سوم نسبت اخـتلاط (۵۰:۵۰) از دو علف‌کش در دُزهای توصیـه شـده، در ۵ بطـری چهـارم نسـبت اختلاط (۲۵٪ توفوردی : ۷۵٪ نیکوسولفورون) در دُزهای ذکر شـده و سـپس در ۵ بطـری پـنجم نسـبت ۱۰۰٪ نیکوسـولفورون در پـنج دُز مختلف توصیه شده افزوده شد. این مراحل سه بار دیگر تکرار گردیـد تا در نهایت چهار سری بطری ۲۵تایی بـا اخـتلاط علـف‌کـش‌هـا در دُزهای مورد نظر حاصل گردیـد. در سـری ۲۵تـایی اول آب دیـونیزه بدون سختی، در سری دوم آب دیونیزه همراه با ۰/۱ مـولار از کلـرور کلسیم ($CaCl_2.2H_2O$) با جرم مولی ۱۴۷/۰۲ گرم بر مول، در سری سـوم آب دیـونیزه همـراه بـا ۰/۱ مـولار از کلـرور منیـزیم ($MgCl_2.6H_2O$) با جرم مولی ۲۰۳/۳ گرم بر مول و در سـری آخـر آب دیونیزه همراه با ۰/۱ مولار از کلرور آهن ($FeCl_3.6H_2O$) با جرم مولی ۲۷۰/۳ گرم بر مول (تولید مرک آلمان) افزوده شـد. بـذور جمـع آوری شده علف هرز گاوپنبه از مزرعه تحقیقاتی دانشـکده کشـاورزی دانشـگاه فردوسـی مشـهد در آزمایشـگاه تحقیقـات علـف‌هـای هـرز دانشکده کشاورزی به منظور شکستن خواب در اسـید سـولفوریک ۹۸ درصد به مدت یک دقیقه قرار داده شد و سپس با آب مقطر شستشـو شـدند (Hajmohammadnia Ghalibaf *et al.*, 2016). بـذرهای جوانه زده به گلخانه منتقل و پس آبیاری بـه داخـل گلـدان‌هـا نشـاء شدند. گلدان‌های مورد استفاده دارای قطر ۱۰ و ارتفاع ۱۰ سانتی‌متـر به وزن یک کیلوگرم و دارای خاک به نسبت ۷۰-۱۵-۱۵ درصـد بـه ترتیب از خاک معمولی، ماسه و کوکوپیت بودند. به هر گـلدان ۷ بـذر ریشه دار شده منتقل شد که در مرحله دو برگی حقیقی تُنک شده و ۴ عدد از بوته‌ها در هر گلدان باقی ماندند. ۴ هفته پس از جوانـه‌زنـی بـا استفاده از اتاقک سمپاش خودکـار بـا نـازل بـادبزنی (۱۱۰۰۴)، زاویـه پاشش ۱۱۰ درجه، خروجـی ۳۹۰ لیتـر و بـا فشـار ۳۰۰ کیلوپاسـکال، سمپاشی تیمارها انجام شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از اصول مربوط به آزمایش‌هـای دُز- پاسخ و اختلاط به کمک محیط نرم‌افزاری R و بسته نرم‌افـزاری drc انجام شد. معادلات به شرح زیر است:

برای تعیین درصد گیاهان زنده باقی مانده از درصد کـل گیاهـان در هر گلـدان (درصـد بقـاء) از معادلـه زیـر (معادلـه ۱) استـفاده شـد (Hajmohammadnia Ghalibaf *et al.*, 2016).

(معادلـه ۱) ۱۰۰ × (تعـداد بوتـه اولیـه موجـود در هـر گلدان/ تعداد گیاهان زنده مانده ۴ هفته پس از سمپاشی) = ٪ بقاء

بـرای تعیـین شـاخص‌هـای ED_{50} و ED_{90} تیمارهـای شـاهد و مخلوط از مدل‌های لُگ لجستیک سه و چهار پـارامتره (معـادلات ۲ و ۳) استفاده شد (Streibig and Kudsk, 1993):

(معادله ۲)

$$U_{ij} = C + \frac{D - C}{1 + \exp[b_i(\log(z_{ij}) - \log(ED_{50(i)}))]}$$

(معادله ۳)

$$U_{ij} = \frac{D}{1 + \exp[b_i(\log(z_{ij}) - \log(ED_{50(i)}))]}$$

که در این معادلات، Uij بیانگر زیست‌توده j اُم که موجب پاسخ در دُز i اُم علف‌کش (zij) می‌شود، D و C حدّ بـالا و پـایین مجانـب زیست‌توده در مقادیر صفر و بی نهایـت علـف‌کـش، (ED50i) مقـدار علف‌کش در غلظت i ام مورد نیاز برای نصف کردن پاسخ بین حـدود بـالا (D) و پـایین (C) و bi متناسب بـا شـیب منحنـی در محـدوده (ED50i) می‌باشد (Streibig and Kudsk, 1993).

از مدل افزایش غلظت (Concentration addition) برای تعیین اثرات هم‌افزایی، هم‌کاهی و افزایشی ترکیب علف‌کش‌های مورد نظر استفاده شد (Streibig, 1993). مدل افـزایش غلظـت، مـدلی خطّـی است که دارای پارامترهای b، c، d، e، f می‌باشد. این مـدل بصـورت زیر (معادله ۴) بیان می‌شود:

$$\frac{d_1}{\delta_1} + \frac{d_2}{\delta_2} = 1 \quad \text{(معادله ۴)}$$

که در این معادله d1 و d2 نسبت‌هـای مختلـف مقـادیر اخـتلاط علف‌کش، δ_1 و δ_2 مقدار مورد نیاز از علف‌کـش در حالـت کـاربرد خالص است.

مدل هِولِت (Hewlette)، مدل غیرخطّـی اسـت کـه دارای یـک انحنا (تحدّب یـا تقعّر) اسـت و دارای پارامترهـای b، c، d، e، f و g است و به صورت زیر (معادله ۵) بیـان مـی‌شـود (Sorensen *et al.*, 2010):

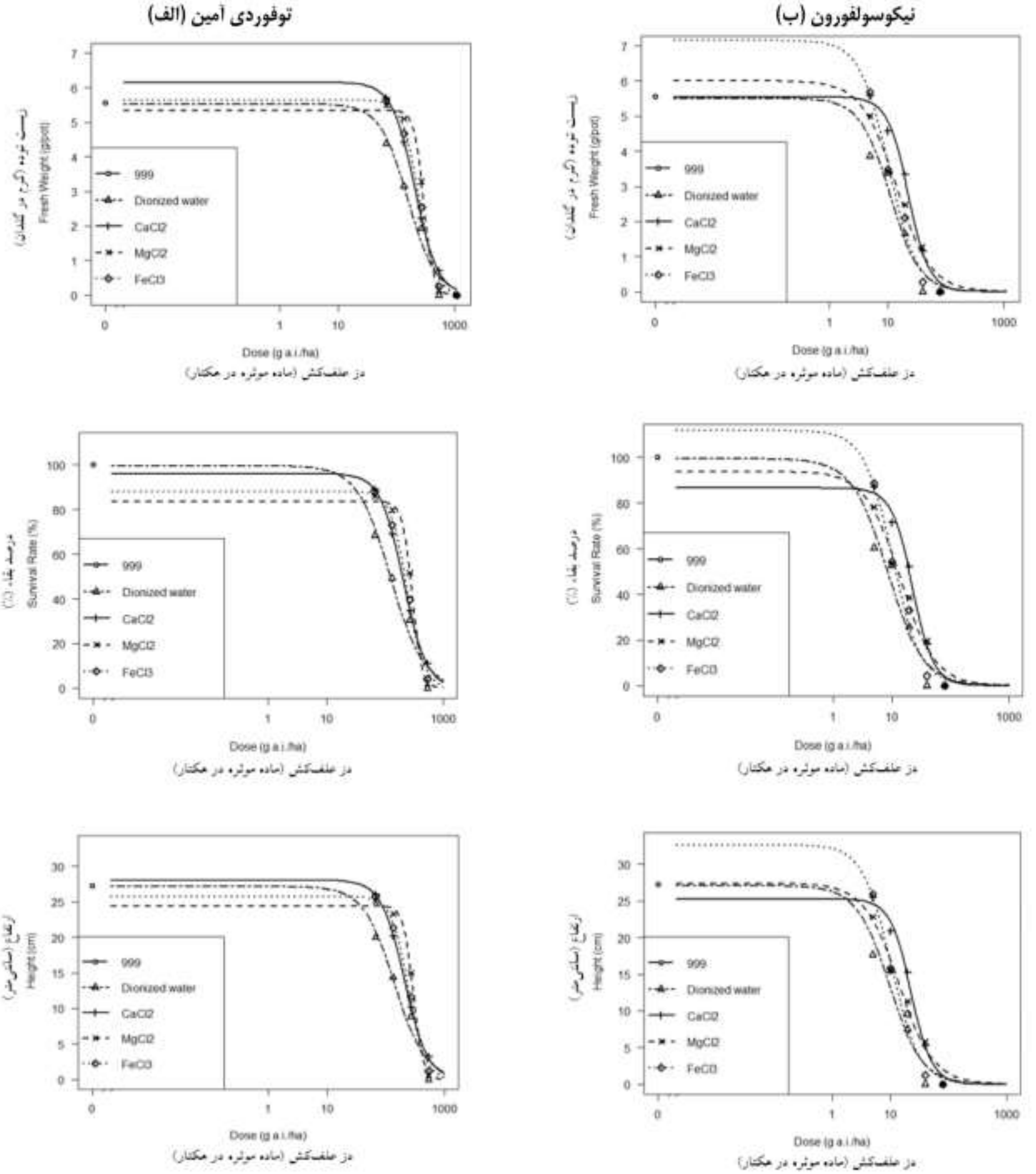
$$\left(\frac{d_1}{\delta_1}\right)^{1/\lambda} + \left(\frac{d_2}{\delta_2}\right)^{1/\lambda} = 1 \quad \text{(معادله ۵)}$$

که در این معادله: λ : پارامتر مربوط به اثر متقابل اسـت و سـایر پارامترها مشابه مدل افزایش غلظت است.

اگر $\lambda = 1$ حالت افزایش غلظت (افزایشی)

$\lambda > 1$ حالت تشدید کنندگی (هم‌افزایی)

$\lambda < 1$ حالت بازدارندگی (هم‌کاهی)



شکل ۱- پاسخ زیست توده، بقاء و ارتفاع بوته علف هرز گاوپنبه به دُز توفوردی آمین (الف) و نیکوسولفورون (ب) در حضور عوامل سختی در آب حامل علف‌کش‌ها (کلرور کلسیم، کلرور منیزیم و کلرور آهن III)، داده‌ها به مدل لجستیک سه پارامتره برازش داده شده‌اند. ۹۹۹ بیانگر تیمار شاهد بدون کاربرد علف‌کش می‌باشد.

Figure 1- Response Biomass, survival and plant height of velvetleaf affected by different does of 2,4-D amine (a) and nicosulfuron (b) in the presence of hardness agents (calcium chloride, magnesium chloride and iron chloride III) in the carrier herbicides water, data were fitting a three parameters logistic model. 999 indicates control treatment without the use of herbicides

نتایج و بحث

تأثیر جداگانه و اختلاط توفوردی آمین و نیکوسولفورون بر صفات رویشی گاوپنبه در شرایط مختلف سختی آب مخزن سمپاش مورد بررسی قرار گرفت. براساس آزمون عدم برازش، بهترین تابع در همه شرایط، تابع لوگ لجستیک سه پارامتره بود، لذا این تابع جهت برازش به داده‌های دُز- پاسخ مد نظر قرار گرفت.

توفوردی آمین

با توجّه به نتایج بدست آمده، افزودن کلرورهای کلسیم، منیزیم و آهن III در آب مخزن سمپاش، کارایی توفوردی آمین را کاهش داد، به طوری که با افزودن این نمک‌ها کنترل کمتری در زیست توده، درصد بقاء و ارتفاع علف هرز مشاهده شد و تأثیر هم‌کاهی نمک‌های موجود در آب حامل با همدیگر متفاوت بود (شکل ۱- الف).

بیش‌ترین میزان کاهش در کارایی توفوردی در کنترل گاوپنبه مربوط به حضور کلرور منیزیم بود، به طوری‌که برای کنترل ۵۰ درصدی زیست‌توده علف هرز نسبت به تیمار شاهد مقادیر ۲۹۴/۱۷ گرم مادّه مؤثره در هکتار برای این علف‌کش مورد نیاز بود که مصرف علف‌کش را نسبت به تیمار بدون سختی (۱۵۸/۵۰ گرم مادّه مؤثره در هکتار)، ۱/۸۵ برابر افزایش داد. ED_{50}های علف کش توفوردی آمین در حضور کلرورهای آهن III و کلسیم در کنترل زیست توده گاوپنبه به ترتیب با مقادیر ۲۴۴/۷۹ و ۲۰۸/۳۱ گرم مادّه مؤثره در هکتار در رتبه بعدی قرار گرفتند (جدول ۱). گزارش‌های مشابهی از کاهش کارایی گلایفوسیت در هنگام کاربرد در آب سخت وجود دارد (Nalewaja and Matysiak, 1993; Mueller *et al.*, 2006). در تحقیق نالیواجا و ماتیاسک (Nalewaja and Matysiak, 1991)، کارایی توفوردی که از علف‌کش‌های اسیدی ضعیف می‌باشد، تحت تأثیر کاتیون‌های موجود در آب سخت قرار گرفت و فرمولاسیون آمین نسبت به استر علف‌کش به آب‌های سخت حسّاس‌تر بود.

جدول ۱- پارامترهای حاصل از برازش داده‌های زیست توده، بقاء و ارتفاع بوته گاوپنبه به معادله سیگموئیدی سه پارامتره تحت تاثیر توفوردی آمین و حضور عوامل سختی

Table 1- Parameters from fitting a three parameters logistic model to data of the biomass, survival and plant height of velvetleaf affected by different does of 2,4-D amine and presence of hardness factors

Parameters (پارامترها)	Hardness factors نوع سختی	شیب منحنی (b)	حد بالا (d) (گرم در گلدان)	ED_{50} (گرم مادّه مؤثره در هکتار)
Biomass (زیست‌توده)	D.W (آب دیونیزه)	1.82 (0.18)	5.53 (11.00)	158.50 [d] (11.00) ***
	0.1M $CaCl_2$ (۰/۱مولار کلرور کلسیم)	2.66 (0.40)	5.90 (0.34)	208.31 [c] (17.72) ***
	0.1M $MgCl_2$ (۰/۱مولار کلرور منیزیم)	6.92 (4.47)	5.32 (0.16)	289.51 [a] (13.38) ***
	0.1M $FeCl_3$ (۰/۱مولار کلرور آهن III)	3.49 (0.70)	5.52 (0.26)	248.89 [b] (16.88)***
Survival (بقاء)	D.W (آب دیونیزه)	1.89 (0.31)	100.03 (3.48)	149.39 [b] (16.31) ***
	0.1M $CaCl_2$ (۰/۱مولار کلرور کلسیم)	2.64 (0.75)	93.72 (9.27)	240.85 [a] (34.96) ***
	0.1M $MgCl_2$ (۰/۱مولار کلرور منیزیم)	9.28 (17.75)	83.37 (4.57)	313.32 [a] (88.34) ***
	0.1M $FeCl_3$ (۰/۱مولار کلرور آهن III)	4.64 (2.69)	85.12 (6.11)	286.30 [a] (21.93)***
Plant Height (ارتفاع بوته)	D.W (آب دیونیزه)	1.80 (0.34)	27.07 (1.11)	169.32 [b] (22.99) ***
	0.1M $CaCl_2$ (۰/۱مولار کلرور کلسیم)	1.93 (0.52)	33.56 (5.47)	187.35 [b] (46.98) ***
	0.1M $MgCl_2$ (۰/۱مولار کلرور منیزیم)	6.27 (4.55)	25.60 (1.47)	302.50 [a] (28.14) ***
	0.1M $FeCl_3$ (۰/۱مولار کلرور آهن III)	2.46 (0.73)	28.10 (3.59)	227.78 [b] (43.06)***

***: معنی‌داری در سطح احتمال ۰،۰۰۱، اعداد داخل پرانتز نشان دهنده مقادیر خطای استاندارد (SE) می‌باشند. مقادیر ED_{50} با حداقل یک حرف مشترک براساس فاصله اطمینان ۹۵ درصد برای این پارامتر، فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

*** Significant at the 0.001, Numbers in the parentheses are standard error. ED50 amounts with same letter based on a 95% confidence interval for this parameter are not significantly different.

نیکوسولفورون

بر اساس نتایج، با افزایش دُز نیکوسولفورون، کنترل صفات علف هرز گاوپنبه از جمله زیست‌توده، درصد بقاء و ارتفاع آن بیش‌تر شد. با افزودن هر سه نوع نمک (کلرور کلسیم، کلرور منیزیم و کلرور آهن III) به آب مخزن سمپاش، کارایی نیکوسولفورون در کنترل زیست‌توده گاوپنبه نسبت به آب دیونیزه کاهش یافت (شکل ۱- ب). نیکوسولفورون در شرایط بدون سختی توانست زیست‌توده علف هرز گاوپنبه را به طور معنی‌داری کاهش دهد، به طوری‌که برای کنترل

۵۰ درصدی زیست‌توده علف هرز گاوپنبه با نیکوسولفورون در تیمار بدون سختی به ۱۰/۹۸ گرم مادّه مؤثره در هکتار نیاز بود. بیش‌ترین کاهش کارایی نیکوسولفورون در شرایط سختی مربوط به کلرور کلسیم بود که اختلاف معنی‌داری با آب دیونیزه و سایر نمک‌ها داشت، به طوری‌که ED_{50} علف کش نیکوسولفورون در حضور کلرورهای کلسیم، منیزیم و کلرور آهن III در خصوص زیست‌توده علف هرز به ترتیب معادل ۲۲/۶۹، ۱۴/۰۱ و ۱۲/۳۷ گرم مادّه مؤثره در هکتار حاصل شد. درصد بقاء و ارتفاع بوته گاوپنبه نیز مشابه روند زیست توده آن تحت تأثیر علف‌کش نیکوسولفورون قرار گرفتند (جدول ۲).

در آزمایشی که به منظور شبیه‌سازی تأثیر نمک‌های کلسیم، منیزیم، سدیم آب مخزن بر کارایی نیکوسولفورون انجام شد، مشاهده شد که کلسیم با غلظت ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر بر سمّیت علف کش اثر هم‌کاهی داشت (Penner, 2006). نتایج حاصل از یافته‌های مویلر و همکاران (Mueller *et al.*, 2006) نیز نشان داد که هنگام افزایش غلظت یون‌های کلسیم و منیزیم به بیش از ۲۵۰ پی‌پی‌ام (قسمت در میلیون) در محلول علف‌کشی، کارایی سه فرمولاسیون از گلایفوسیت شامل نمک‌های ایزوپرولامین، دی آمونیوم و پتاسیم کاهش یافت. در تحقیق دیگری حضور کربنات کلسیم و بی‌کربنات سدیم در مخزن نیکوسولفورون کارایی آن را به شکل معنی‌داری کاهش داد (Hajmohammadnia Ghalibaf *et al.*, 2015).

جدول ۲- پارامترهای حاصل از برازش داده‌های زیست توده، بقاء و ارتفاع بوته گاوپنبه به معادله سیگموئیدی سه پارامتره تحت تاثیر نیکوسولفورون و حضور عوامل سختی

Table 2- Parameters from fitting a three parameters logistic model to data of the biomass, survival and plant height of velvetleaf affected by different does of Nicofulfuron and presence of hardness factors

Parameters (پارامترها)	Hardness factors نوع سختی	شیب منحنی (b)	حد بالا (d) (گرم در گلدان)	ED_{50} (گرم ماده مؤثره در هکتار)
Biomass (زیست‌توده)	D.W (آب دیونیزه)	1.69 (0.20)	5.51 (0.14)	10.98 ᵇ (0.94) ***
	0.1M $CaCl_2$ (۰/۱مولار کلرور کلسیم)	2.39 (0.42)	5.55 (0.32)	22.69 ᵃ (2.19) ***
	0.1M $MgCl_2$ (۰/۱مولار کلرور منیزیم)	1.45 (0.30)	6.00 (1.00)	14.01 ᵇ (4.29) **
	0.1M $FeCl_3$ (۰/۱مولار کلرور آهن III)	1.95 (0.34)	6.81 (0.91)	11.01 ᵇ (2.09)***
Survival (بقاء)	D.W (آب دیونیزه)	1.38 (0.19)	99.56 (2.83)	7.94 ᵇ (16.31) ***
	0.1M $CaCl_2$ (۰/۱مولار کلرور کلسیم)	1.93 (0.39)	95.98 (8.76)	20.82 ᵃ (34.96) ***
	0.1M $MgCl_2$ (۰/۱مولار کلرور منیزیم)	1.36 (0.42)	86.51 (21.05)	16.29 ᵃ (88.34) *
	0.1M $FeCl_3$ (۰/۱مولار کلرور آهن III)	1.83 (0.47)	94.94 (18.35)	12.80 ᵃ (21.93) **
Height (ارتفاع بوته)	D.W (آب دیونیزه)	1.78 (0.28)	26.92 (0.84)	12.18 ᵃ (22.99) ***
	0.1M $CaCl_2$ (۰/۱مولار کلرور کلسیم)	2.39 (0.58)	25.29 (1.96)	22.68 ᵃ (46.98) ***
	0.1M $MgCl_2$ (۰/۱مولار کلرور منیزیم)	1.45 (0.42)	27.39 (6.10)	14.01 ᵃ (28.14) *
	0.1M $FeCl_3$ (۰/۱مولار کلرور آهن III)	1.90 (0.46)	29.56 (4.46)	12.94 ᵃ (43.06) ***

***، ** و *: به ترتیب معنی‌داری در سطوح احتمال ۰/۰۰۱، ۰/۰۱ و ۰/۰۵، اعداد داخل پرانتز نشان دهنده مقادیر خطای استاندارد (SE) می‌باشند. مقادیر ED_{50} با حداقل یک حرف مشترک براساس فاصله اطمینان ۹۵ درصد برای این پارامتر، فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

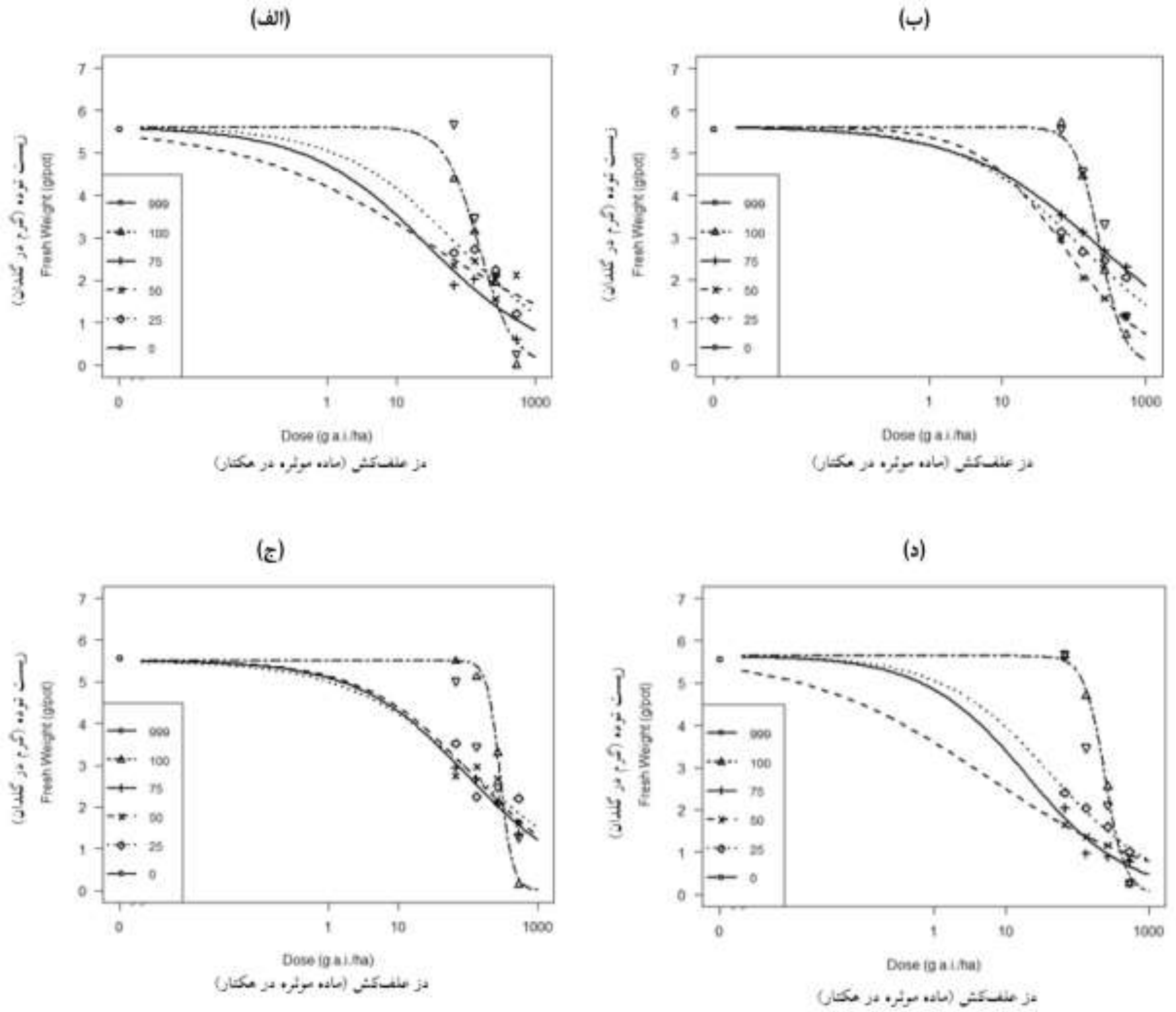
***, ** and * Significant at the 0.001, 0.1 and 0.05, respectively. Numbers in the parentheses are standard error. ED_{50} amounts with same letter based on a 95% confidence interval for this parameter are not significantly different.

کارایی اختلاط توفوردی آمین و نیکوسولفورون بر صفات رشدی گاوپنبه در شرایط استفاده از آب دیونیزه در مخزن سمپاش

داده‌های حاصل از زیست توده گاوپنبه با تیمار اختلاط علف‌کش‌ها در آب دیونیزه با مدل لگاریتم لجستیک سه پارامتره برازش داده شد (شکل ۲- الف). بیش‌ترین کارایی در اختلاط علف‌کش‌ها با آب دیونیزه برای کاهش ۵۰ درصدی زیست توده گاوپنبه مربوط به نسبت ۲۵٪ نیکوسولفورون+ ۷۵٪ توفوردی آمین با ED_{50}=۲۹/۲۵ بود، ولی کمترین کارایی از نسبت ۷۵٪ نیکوسولفورون+ ۲۵٪ توفوردی آمین با ED_{50}=۸۰/۰۵ بدست آمد. در دُزهای ۱۰۰٪ از هر علف‌کش نیز بیشترین کارایی مربوط به توفوردی آمین بود که توانست با مقدار کم علف‌کش نسبت به نیکوسولفورون زیست‌توده گاوپنبه را کاهش دهد (جدول ۳).

از مدل‌های برازش افزایش غلظت و هولِت نیز برای نشان دادن بهتر اثرات اختلاط دو علف‌کش محلول در آب دیونیزه استفاده شد. خط عمود محور (y)، ۱۰۰ ٪ نیکوسولفورون، خط اریب از سمت محور (y) ۷۵٪ نیکوسولفورون + ۲۵٪ توفوردی آمین، ۵۰٪

نیکوسولفورون+ ۵۰٪ توفوردی آمین و خط اریب از طرف محور (x) ۲۵٪ نیکوسولفورون و ۷۵٪ توفوردی آمین و در آخر خط افقی محور (x)، ۱۰۰٪ توفوردی آمین می‌باشد. خطوط توپر روی نقاط منقطع خطای استاندارد ED_{50} هر یک از نسبت‌ها می‌باشد. خطی که منحنی‌ها را قطع می‌کند، خط اثر افزایش غلظت بوده و نقاط بالاتر از این خط نشان دهنده اثرات بازدارندگی (هم‌کاهی) و نقاط پایین‌تر از این خط نشان دهنده اثرات تشدید کنندگی یا (هم‌افزایی) است. برازش داده ها به ترتیب برای مدل افزایشی (P=۰/۰۰) معنی‌دار و مدل هِولِت (P =۰/۳۸) معنی‌دار نشد، بنابراین داده‌های زیست‌توده گاوپنبه برازش خوبی به مدل هِولِت نشان دادند (شکل ۳- الف).



شکل ۲- منحنی مربوط به مدل لجستیک سه پارامتره در حالت اختلاط توفوردی آمین با نیکوسولفورون در آب دیونیزه (الف)، محتوی کلرور کلسیم (ب)، کلرور منیزیم (ج) و کلرور آهن III (د) با حد بالای یکسان. محور x مقدار اختلاط یافته علف‌کش‌ها بر حسب گرم مادّه مؤثره در هکتار و محور y میانگین زیست‌توده گاوپنبه می‌باشد. ۹۹۹ بیانگر تیمار شاهد بدون کاربرد علف‌کش می‌باشد. ۱۰۰ (۱۰۰٪ توفوردی آمین)، ۷۵ (۷۵٪ توفوردی آمین+۲۵٪ نیکوسولفورون)، ۵۰ (۵۰٪ توفوردی آمین+۵۰٪ نیکوسولفورن)، ۲۵ (۲۵٪ توفوردی آمین+۷۵٪ نیکوسولفورن)، ۰ (۱۰۰٪ نیکوسولفورون).

Figure 2- Curve from fitting a three parameters logistic model in the conditions of 2,4-D amine and nicosulforun herbicides mixture in deionized water (a), containing calcium chloride (b), magnesium chloride (c) and iron chloride III (d) with the same upper limit. 999 indicates control treatment without herbicide application: 100 (100% 2,4-D amine), 75 (75% 2,4-D amine + 25% nicosulforun), 50 (50% 2,4-D amine + 50% nicosulforun), 25 (25% 2,4-D amine + 75% nicosulforun), 0 (100% nicosulforun).

جدول ۳- پارامترهای حاصل از برازش داده‌های زیست توده گاوپنبه به معادله سیگموئیدی سه پارامتره تیمار شده در نسبت‌های مختلف توفوردی آمین و نیکوسولفورون با کیفیت های مختلف آب مخزن سمپاش

Table 3- Parameters from fitting a three parameters logistic model to data of the biomass treated in different ratios of 2,4-D and nicosulfuron herbicides with different qualities of sprayer tank water

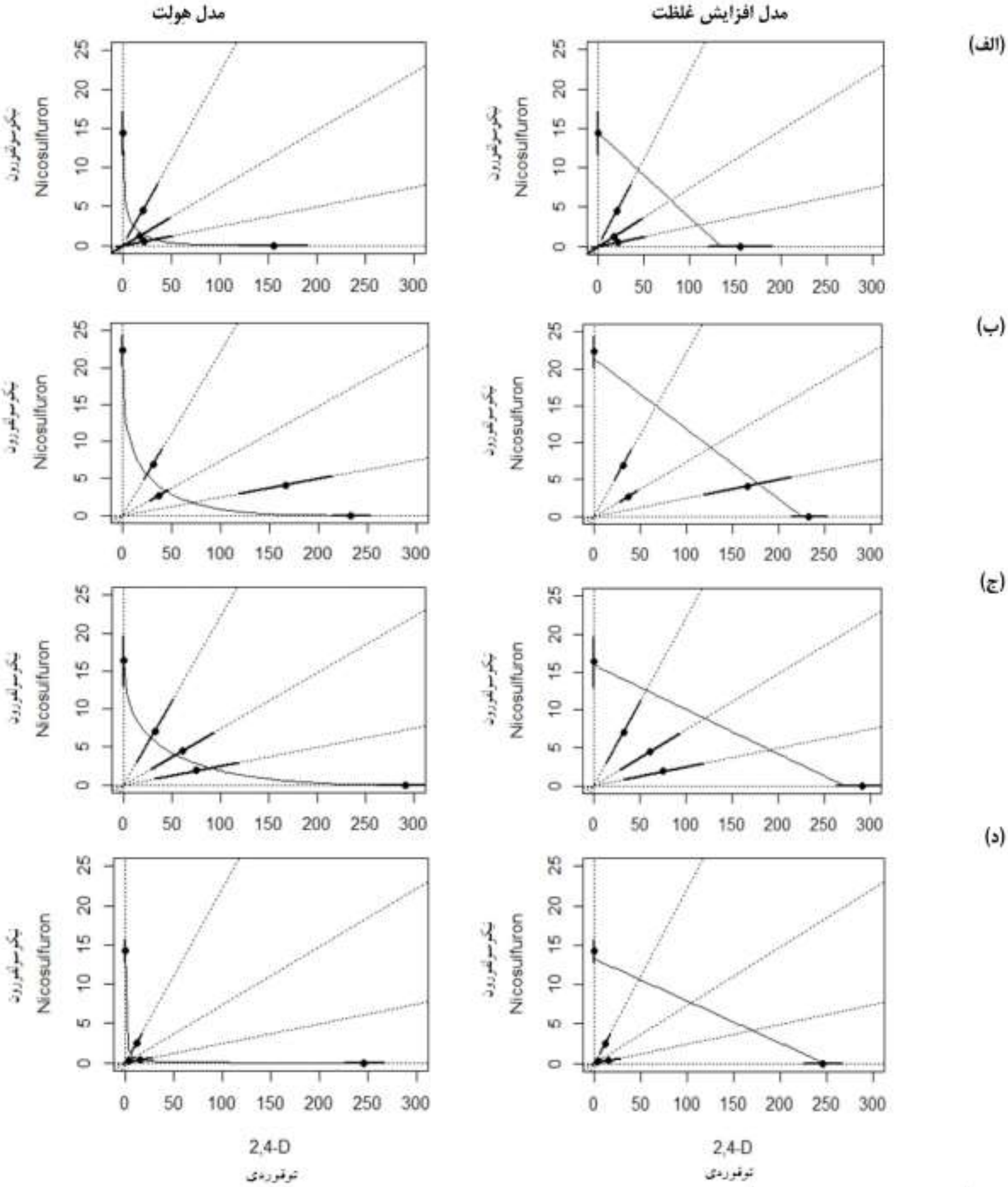
Water Quality کیفیت آب	2,4-D : nicosulfuron نیکوسولفورون : توفوردی	شیب منحنی (b)	حد بالا (d) (گرم در گلدان)	ED_{50} (گرم مادّه مؤثره در هکتار)
D.W (آب دیونیزه)	100:00	1.78 (0.28)	5.60 (0.18)	155.46 ^{b} (17.37) ***
	75:25	0.50 (0.16)	5.60 (0.18)	29.25 ^{c} (19.35)
	50:50	0.32 (0.13)	5.60 (0.18)	33.62 ^{c} (30.48)
	25:75	0.51 (0.14)	5.60 (0.18)	80.05 ^{c} (30.94) *
	0:100	2.34 (0.36)	5.60 (0.18)	193.95 ^{a} (18.28) ***
0.1M $CaCl_2$ (۰/۱مولار کلرور کلسیم)	100:00	2.61 (0.23)	5.61 (0.08)	232.41 ^{b} (9.74) ***
	75:25	0.46 (0.06)	5.61 (0.08)	221.23 ^{b} (31.60) ***
	50:50	0.73 (0.08)	5.61 (0.08)	72.95 ^{b} (10.37) ***
	25:75	0.52 (0.06)	5.61 (0.08)	124.54 ^{b} (18.58) ***
	0:100	2.33 (0.21)	5.61 (0.08)	301.36 ^{b} (13.76) ***
0.1M $MgCl_2$ (۰/۱مولار کلرور منیزیم)	100:00	4.81 (1.73)	5.50 (0.14)	291.27 ^{b} (14.69) ***
	75:25	0.55 (0.13)	5.50 (0.14)	100.35 ^{b} (28.82) ***
	50:50	0.55 (0.12)	5.50 (0.14)	121.64 ^{b} (32.73) ***
	25:75	0.47 (0.12)	5.50 (0.14)	127.59 ^{b} (37.62) **
	0:100	1.60 (0.22)	5.50 (0.14)	220.49 ^{b} (22.74) ***
0.1M $FeCl_3$ (۰/۱مولار کلرور آهن III)	100:00	3.06 (0.33)	5.64 (0.09)	245.18 ^{b} (10.31) ***
	75:25	0.61 (0.13)	5.64 (0.09)	19.75 ^{b} (8.76) *
	50:50	0.35 (0.10)	5.64 (0.09)	5.16 ^{b} (5.28)
	25:75	0.57 (0.09)	5.64 (0.09)	44.75 ^{b} (11.07) ***
	0:100	2.33 (0.19)	5.64 (0.09)	192.41 ^{b} (9.38) ***

***، ** و *: به ترتیب معنی‌داری در سطوح احتمال ۰،۰۰۱، ۰،۰۱ و ۰،۰۵، اعداد داخل پرانتز نشان دهنده مقادیر خطای استاندارد (SE) می‌باشند. مقادیر ED_{50} با حداقل یک حرف مشترک براساس فاصله اطمینان ۹۵ درصد برای این پارامتر، فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

***, ** and * Significant at the 0.001, 0.1 and 0.05, respectively. Numbers in the parentheses are standard error. ED_{50} amounts with same letter based on a 95% confidence interval for this parameter are not significantly different.

بر اساس نتایج، اثر دو علف‌کش نیکوسولفورون و توفوردی آمین از نوع هم‌افزایی می‌باشد و قابلیت اختلاط با یکدیگر را دارند. به عبارت دیگر اختلاط این دو علف‌کش کنترل بهتری روی گاوپنبه نسبت به کاربرد خالص نشان داده و مصرف دو علف‌کش را کاهش داد. لذا می‌توان از این دو علف‌کش به صورت اختلاط استفاده کرد، بویژه در نسبت‌هایی که مقادیر توفوردی آمین بالاست، هم‌افزایی دو علف‌کش نسبت به نسبت‌های بالای نیکوسولفورون بیش‌تر بوده و کنترل بهتری در زیست توده گاوپنبه مشاهده شد (شکل ۳- الف).

کاربرد هم زمان پهن برگ‌کش‌ها و باریک برگ‌کش‌ها همواره به منظور کاهش دفعات سم‌پاشی مدّنظر کشاورزان بوده است. بهترین حالت اختلاط علف‌کش‌ها وقتی است که اثرات آن‌ها به مقدار بیش‌تری علف‌های‌هرز را کنترل نمایند، بدون آن که آسیبی به گیاه زراعی برسانند (Streibig *et al.*, 2000). در مطالعات پیشین نیز بیان شده است که مخلوط نیکوسولفورون با دایکمبا یا توفوردی برخی از علف‌های‌هرز پهن‌برگ یکساله در ذرّت را کنترل کرده است (Dobbels and Kapusta, 1993). همچنین اختلاط متسولفورون و توفوردی بر روی علف‌های هرزی مثل تاج خروس ریشه قرمز (*Amaranthus retroflexus*)، گاوپنبه و نیلوفرپیچ هندی (*Ipomoea lacuonosa* L.) کنترل خوبی نشان داده است (Regehr, 1997).



شکل ۳- نمودارهای آیزوبول (هم‌اثر) لجستیک لگاریتمی سه پارامتره برای اثر اختلاط توفوردی آمین با نیکوسولفورون در آب دیونیزه (الف)، محتوی کلرور کلسیم (ب)، کلرور منیزیم (ج) و کلرور آهن III (د) بر زیست توده علف هرز گاوپنبه با برازش مدل افزایش غلظت (راست) و مدل هولت (چپ) می‌باشد.

Figure 3- Isoboles from fitting a three parameters logistic model in the conditions of 2,4-D amine and nicosulforun herbicides mixture in deionized water (a), containing calcium chloride (b), magnesium chloride (c) and iron chloride III (d) on velvetleaf biomass with fitting Concentration Addition (Right) and Hewlett models.

تأثیر سختی آب مخزن سمپاش ناشی از کلرور کلسیم بر کارایی اختلاط توفوردی آمین و نیکوسولفورون بر صفات رشدی گاوپنبه

آنالیز داده‌های دُز- پاسخ زیست توده علف هرز گاوپنبه به نسبت‌های اختلاط نیکوسولفورون و توفوردی آمین در شرایط افزودن کلرور کلسیم به مخزن سمپاش برازش خوبی به مدل لگاریتم لجستیک سه پارامتره نشان دادند (شکل ۲- ب). بیشترین کارایی در اختلاط علف‌کش‌ها برای کاهش زیست‌توده گاوپنبه مربوط به نسبت ۵۰٪ نیکوسولفورون+ ۵۰٪ توفوردی آمین با ED_{50}=۷۲/۹۵ بود، لذا در این نسبت دو علف‌کش توانستند به اثر منفی نمک کلسیم غلبه کنند، ولی کمترین کارایی مربوط به نسبت ۲۵٪ نیکوسولفورون+ ۷۵٪ توفوردی آمین با ED_{50}=۲۲۱/۲۳ بود. در دُزهای ۱۰۰٪ نیز بیشترین کارایی مربوط به توفوردی آمین با ED_{50}=۲۳۲/۴۱ و کمترین کارایی مربوط به نیکوسولفورون با ED_{50}=۳۰۱/۳۶ بود که نمک کلسیم کارایی آن‌ها را نسبت به اختلاط بسیار کاهش داد و در نیکوسولفورون این کاهش بیش‌تر از توفوردی آمین بود (جدول ۳).

بر اساس نتایج تحقیقی، افزایش غلظت کربنات کلسیم در محلول سموم علف کش های گلایفوسیت و نیکوسولفورون، کارایی آنها را به صورت معنی داری تحت تأثیر قرار داد. به طوری‌که با افزایش کربنات کلسیم در مخزن این علف‌کش‌ها، بقاء، ارتفاع بوته، سطح برگ و وزن خشک اندام هوایی علف‌های هرز سوروف [*Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv.] و گاوپنبه افزایش یافت. تأثیر هم‌کاهی یون کلسیم موجود در محلول علف‌کش‌ها در کنترل علف‌های هرز مشابه نبود، به طوری‌که اثر بازدارندگی سختی آب موجود در مخزن علف‌کش نیکوسولفورون روی علف هرز گاوپنبه بیش از سوروف مشهود بود، ولی برای گلایفوسیت نتیجه معکوس شد (Hajmohammadnia Ghalibaf *et al.*, 2015).

برازش داده‌ها برای هر دو مدل افزایشی و مدل هِولِت در سطح (P =۰/۰۵) معنی‌دار شد. در نمودار ایزوبول مدل افزایش غلظت، چون خط هم اثر بالای ED_{50} نسبت‌های ۷۵٪ نیکوسولفورون+ ۲۵٪ توفوردی آمین، ۵۰٪ نیکوسولفورون+ ۵۰٪ توفوردی آمین و ۲۵٪ نیکوسولفورون+ ۷۵٪ توفوردی آمین قرار دارد می‌توان گفت که در این نسبت‌ها اثر هم‌افزایی وجود دارد، ولی در نسبت‌های ۱۰۰٪ توفوردی آمین و نیکوسولفورون به دلیل عبور خط از خطای استاندارد ED_{50} آن‌ها بدون تأثیر تشدیدکنندگی و یا کاهندگی می‌باشند (شکل ۳- ب).

در تحقیقات قبلی گزارش شده است اثر اختلاط هالوسولفورون و توفوردی در کنترل علف هرز سلمه‌تره (*Chenopodium album*) از نوع هم‌افزایی می‌باشد (Isaacs *et al.*, 2006). در تحقیقی اختلاط نیکوسولورون با ریم سولفورون باعث کنترل بیش از ۴۳ درصدی علف هرز قیاق (*Sorghum halepense*) شد و تراکم و وزن خشک علف هرز به ترتیب ۷۶ و ۹۴ درصد کاهش یافت (Sikkema *et al.*, 2007). افزودن یون های Ca^{2+} و Mg^{2+} در محلول گلایفوسیت باعث کاهش کنترل اویارسلام زرد (*Cyperus esculentus* L.)، پیچک صحرایی (*Covulvulus arvensis*) و تاج‌خروس پالمر شد (Mueller *et al.*, 2006). در توفوردی نیز افزودن ۴۰۰ تا ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر از (Ca^{2+}) یا (Mg^{2+}) در آب حامل، باعث کاهش کارایی علف‌کش در کنترل علف جارو (*Kochia scopria*) شد (Nalewaja and Matysiak, 1993).

تأثیر سختی آب مخزن سمپاش ناشی از کلرور منیزیم بر کارایی اختلاط توفوردی آمین و نیکوسولفورون بر صفات رشدی گاوپنبه

براساس نتایج، مدل لگاریتم لجستیک سه پارامتره برازش خوبی به داده‌های زیست توده گاوپنبه داشت و زیست‌توده علف هرز تحت تأثیر تیمار سختی کلرور منیزیم پاسخ متفاوتی به نسبت‌های اختلاط علف‌کش‌ها نشان داد که روند داده‌ها در شکل ۲- ج ملاحظه می‌شود. بیشترین اثر هم کاهی کلرور منیزیم در حلال علف‌کش‌ها مربوط به نسبت ۱۰۰ درصد توفوردی آمین با ED_{50}=۲۹۱/۲۷ و در اختلاط علف‌کش‌ها نیز مربوط به نسبت‌های ۷۵٪ نیکوسولفورون+ ۲۵٪ توفوردی با ED_{50}=۱۲۷/۵۹ بود که زیست توده گاوپنبه در این نسبت‌ها کمتر کاهش یافت. کمترین کاهندگی کلرور منیزیم نیز مربوط به ۲۵٪ نیکوسولفورون+ ۷۵٪ توفوردی آمین با ED_{50}=۱۰۰/۳۵ بود که کارایی بیش‌تری در کنترل زیست توده گاوپنبه داشت. همچنین مصرف دُز ۱۰۰٪ توفوردی آمین و ۱۰۰٪ علف‌کش نیکوسولفورون در حضور کلرور منیزیم نسبت به شاهد بدون سختی (آب دیونیزه) به ترتیب ۱/۸۷ و ۱/۱۴ برابر افزایش یافت (جدول ۳).

در مطالعه‌ای دوکوتا و جانسون (Devkota and Johnson, 2020) گزارش کردند که که آب حامل در pH اسیدی و بدون سطح سختی برای استفاده از دایکامبا و گلایفوسیت بسیار مهم است. به طوری که سختی آب محتوی ۴۰۰ یا ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر $CaCO_3$ باعث کاهش کارایی گلایفوسیت و دایکامبا در کنترل علف‌های هرز آمبروزیا (*Ambrosia* sp.) و علف اسب شد. وجود کلسیم یا منیزیم در آب حامل همچنین باعث کاهش کنترل سلمه‌تره با توفوردی آمین شد (Roskamp *et al.*, 2013). به طور مشابه، اثرات منفی کاتیون‌های معدنی کلسیم و منیزیم بر کارایی علف کش های توفوردی و گلایفوسیت گزارش شده است (Devkota and

(Johnson, 2019).

نمودارهای آیزوبول حاصل از اختلاط توفوردی آمین با نیکوسولفورون در نسبت‌های مختلف با برازش مدل افزایش غلظت و مدل هِولِت در شکل ۳- ج نشان داده شده است. همانطوری که ملاحظه می‌شود نسبت‌های مختلف اختلاط در حضور کلرور منیزیم با مدل افزایشی پایین تر از خط هماثر قرار گرفته‌اند و خط هماثر نتوانسته نقاط ED_{50} را قطع کند و دادها برازش خوبی به این مدل نشان ندادند، به همین خاطر از مدل هِولِت استفاده شد که در این مدل خط هماثر توانست نقاط ED_{50}ها را قطع و اثر هم‌افزایی نسبت‌های اختلاط (نسبت‌های ۷۵٪ نیکوسولفورون+ ۲۵٪ توفوردی آمین، ۵۰٪ نیکوسولفورون+ ۵۰٪ توفوردی آمین و ۲۵٪ نیکوسولفورون+ ۷۵٪ توفوردی آمین) را به خوبی نشان دهد (شکل ۳- ج).

تأثیر سختی آب مخزن سمپاش ناشی از کلرور آهن III بر کارایی اختلاط توفوردی آمین و نیکوسولفورون بر صفات رشدی گاوپنبه

پراکنش داده‌های زیست توده گاوپنبه که به وسیله اختلاط نیکوسولفورون و توفوردی آمین در حضور سختی کلرور آهن III تیمار شده بودند در شکل ۲- د با مدل لگاریتم لجستیک سه پارامتره نشان داد شده است. زیست توده گاوپنبه در اثر اختلاط علف‌کش‌ها و حضور کلرور آهن III در مخزن سمپاش با افزایش دُز علف‌کش‌ها کاهش یافت و در دُزهای بالاتر نزدیک به صفر رسید، به طوری که نسبت‌های اختلاط اختلاف معنی داری با دُزهای ۱۰۰٪ علف‌کش‌ها نشان دادند (شکل ۲- د).

همه نسبت‌های اختلاط با یکدیگر اختلاف معنی‌دار داشته و بیش ترین کارایی اختلاط علف‌کش‌ها با وجود کلرور آهن III در کنترل زیست توده گاوپنبه مربوط به نسبت ۵۰٪ نیکوسولفورن+ ۵۰٪ توفوردی آمین بود که برای کاهش ۵۰ درصد از زیست توده گاوپنبه به ۵/۱۶ گرم مادّه مؤثره نیاز بود (جدول ۳).

برای بیان نوع اثر اختلاط‌ها در حضور کلرور آهن III از مدل‌های افزایش غلظت و مدل هِولِت استفاده شد که داده‌ها به مدل هِولِت برازش بهتری نشان دادند (شکل ۳- د). با توجّه به مدل هِولِت نسبت‌های بالای توفوردی آمین اثر هم‌افزایی شدیدی نشان دادند و در نسبت ۷۵٪ نیکوسولفورون+ ۲۵٪ توفوردی آمین به دلیل قرارگیری بالای خط هماثر، هم‌افزایی کمتری نسبت به سایر اختلاط‌ها داشت. در دُزهای ۱۰۰٪ علف‌کش‌ها برای کنترل ۵۰ درصد از زیست‌توده گاوپنبه ۲۴۵/۱۸ و ۱۹۲/۴۱ گرم مادّه مؤثره در هکتار به ترتیب برای توفوردی آمین و نیکوسولفورون لازم بود، یعنی ۲۷/۴۲ درصد توفوردی آمین بیش‌تری نسبت به نیکوسولفورون نیاز بود که دلیل آن می‌تواند اثر هم‌کاهی بیش‌تر کلرور آهن III بر کارایی توفوردی آمین در مقایسه با نیکوسولفورون باشد (شکل ۳- د).

بررسی‌های قبلی نشان داده‌اند که حامل اسیدی به جذب علف‌کش به گیاه کمک می‌کند (Callow and Deveau, 2010; Green and Cahill, 2003; Griffin, 2009). نالیواجا و همکاران (Nalewaja *et al.*, 1994) نیز دریافتند تا زمانی که pH آب حامل بالای ۷ باشد، ستوکسیدیم پاسخ هم‌کاهی به کاتیون‌های کلسیم و سدیم در آب نشان نمی‌دهد.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق، با کاربرد خالص نیکوسولفورون و توفوردی آمین در حضور سختی‌های آب مخزن سمپاش شامل کلرور کلسیم، کلرور منیزیم و کلرور آهن III، کنترل علف هرز گاوپنبه کاهش یافت و نوع کاتیون کاهنده اثر در دو علف‌کش متفاوت بود. سختی‌هایی که بیش‌ترین کاهش را در نیکوسولفورون و توفوردی آمین داشتند به ترتیب شامل کلرور کلسیم و کلرور منیزیم بودند. در شرایط اختلاط نیز نتایج نشان دادند هر چند نحوه عمل و pH مناسب دو علف‌کش متفاوت است، ولی نوع اثر در اختلاط دو علف‌کش در شرایط با و بدون عوامل سختی از نوع هم‌افزایی بود. با وجود سختی کلرور کلسیم در مخزن سمپاش نسبت برابر از دو علف‌کش، در حضور سختی کلرور منیزیم نسبت بالای نیکوسولفورون و در حضور کلرور آهن III نسبت بالای توفوردی آمین بیش‌ترین کاهش را در زیست‌توده علف هرز گاوپنبه داشتند. در یک نتیجه‌گیری کلی، هر چند بر اساس یک پژوهش و آن هم در شرایط گلخانه نمی‌توان توصیه‌ای ارایه کرد، با این حال نتایج این پژوهش نشان داد که شاید بتوان از اثرات هم افزایی دو علف‌کش حساس به سختی آب مخزن، در جهت کاهش اثرات منفی بر کارایی آنها در شرایط استفاده از آب سخت بهره جست. با این وجود، تأیید این نتایج در سطح مزرعه و بدنبال آن مطالعات دقیق تر بویژه در ارتباط با جذب و انتقال علف‌کش‌ها، شاید بتواند بطور مشخص تری سازوکارهای دخیل در این خصوص را روشن کند.

منابع

1. Boyd, C.E. (2019). *Water quality: an introduction*. Springer Nature.
2. Brown, K. (2001). Environmental impact on herbicide performance. In *Proceedings of 2nd Annual Manitoba Agronomists Conference* (pp. 155-158).

3. Callow, K., & Deveau, J. (2010). *Water quality affects herbicide efficacy*.
4. Information website: http://www.omafra.gov.on.ca/english/crops/hort/news/hortmatt/2010/05hrt10a1.htm.
5. Devkota, P. (2017). *Spray water quality: An important consideration for herbicide application*. Information website: http://cemonterey.ucanr.edu.
6. Devkota, P., & Johnson, W.G. (2019). Influence of carrier water pH, foliar fertilizer, and ammonium sulfate on 2, 4-D and 2, 4-D plus glyphosate efficacy. *Weed Technology 33*(4): 562-568.
7. Devkota, P., & Johnson, W.G. (2020). Efficacy of dicamba and glyphosate as influenced by carrier water pH and hardness. *Weed Technology 34*(1): 101-106.
8. Devkota, P., Whitford, F., & Johnson, W.G. (2016). Influence of spray-solution temperature and holding duration on weed control with premixed glyphosate and dicamba formulation. *Weed Technology 30*(1): 116-122.
9. Dobbels, A.F., & Kapusta, G. (1993). Postemergence weed control in corn (*Zea mays*) with nicosulfuron combinations. *Weed Technology 7*(4): 844-850.
10. Green, J.M., & Hale, T. (2005). Increasing and decreasing pH to enhance the biological activity of nicosulfuron. *Weed technology 19*(2): 468-475.
11. Green, J.M., & Cahill, W.R. (2003). Enhancing the biological activity of nicosulfuron with pH adjusters. *Weed Technology 17*(2): 338-345.
12. Griffin, J.L. (2009). *Water Quality Effects on Pesticides*. Information website: http://www.laca1.org /Presentations/ 2009/Water QualityEffects2009.pdf.
13. Hajmohammadnia Ghalibaf, K., Rashed Mohassel, M.H., Nassiri Mahallati, M., and Zand, E. (2016). The Influence of Adding Ammonium Sulphate to Spray Solution of Glyphosate and Nicosulfuron including Calcium Carbonate on Barnyardgrass and Velvetleaf Control. *Iranian Journal of Plant Protection* 30(2): 188-198. (In Persian)
14. Hajmohammadnia Ghalibaf, K., Rashed Mohassel, M.H., Nassiri Mahallati, M. and Zand, E. (2015). Optimize nicosulfuron efficacy with the addition of nitrogen compounds affected the water quality in spray tank. *Iranian Journal of Weed Research 7*(2): 53-70. (In Persian)
15. Heidekamp, A.J., & Lemley, A.T. (2005). Hard water. *Water bulletin. Water Quality Program, College of Human Ecology, Cornell University, Ithaca (April, 2005)*.
16. Holm, F.A., Henry, J.L., & Billett, D. (1994). *Water quality and herbicides*. Saskatchewan Agriculture and Food.
17. Isaacs, M.A., Hatzios, K.K., Wilson, H.P., & Toler, J. (2006). Halosulfuron and 2, 4-D mixtures' effects on common lambsquarters (*Chenopodium album*). *Weed Technology 20*(1): 137-142.
18. Jensen, K.I.N., & Caseley, J.C. (1990). Antagonistic effects of 2, 4-D amine and bentazone on control of Avena fatua with tralkoxydim. *Weed Research 30*(6): 389-395.
19. Mueller, T.C., Main, C.L., Thompson, M.A., & Steckel, L.E. (2006). Comparison of glyphosate salts (isopropylamine, diammonium, and potassium) and calcium and magnesium concentrations on the control of various weeds. *Weed Technology 20*(1): 164-171.
20. Nalewaja, J.D., & Matysiak, R. (1991). Salt antagonism of glyphosate. *Weed Science 39*(4): 622-628.
21. Nalewaja, J.D., & Matysiak, R. (1993). Spray carrier salts affect herbicide toxicity to kochia (*Kochia scoparia*). *Weed Technology 7*(1): 154-158.
22. Nalewaja, J.D., Matysiak, R., & Szelezniak, E. (1994). Sethoxydim response to spray carrier chemical properties and environment. *Weed Technology 8*(3): 591-597.
23. Owen, M.D., & Zelaya, I.A. (2005). Herbicide-resistant crops and weed resistance to herbicides. *Pest Management Science: formerly Pesticide Science 61*(3): 301-311.
24. Penner, D. (2006). Novel water conditioning agents for glyphosate. In *North Central Weed Science Society Proceedings* (Vol. 61, p. 150).
25. Peterson, M.A., McMaster, S.A., Riechers, D.E., Skelton, J., & Stahlman, P.W. (2016). 2, 4-D past, present, and future: a review. *Weed Technology 30*(2): 303-345.
26. Petroff, R. (2000). Water quality and pesticide performance. *Education Specialist Montana State University Extension Service*.
27. Regehr, D.L. (1997). Postemergence Herbicides for Weed Control in Grain Sorghum. *Manhattan, KS: Ashland Bottoms Research Farm, Kansas State University, Field Data Report*.
28. Roskamp, J.M., Turco, R.F., Bischoff, M., & Johnson, W.G. (2013). The influence of carrier water pH and hardness on saflufenacil efficacy and solubility. *Weed Technology 27*(3): 527-533.
29. Scroggs, D.M., Miller, D.K., Stewart, A.M., Leonard, B.R., Griffin, J.L., & Blouin, D.C. (2009). Weed response to foliar coapplications of glyphosate and zinc sulfate. *Weed Technology 23*(1): 171-174.
30. Senseman, S.A. (2007). *Herbicide handbook* (No. 632.954 W394h9). Lawrence, US: Weed Science Society of America.
31. Sikkema, P.H., Kramer, C., Vyn, J.D., Kells, J.J., Hillger, D.E., & Soltani, N. (2007). Control of *Muhlenbergia frondosa* (wirestem muhly) with post-emergence sulfonylurea herbicides in maize (*Zea mays*). *Crop Protection 26*(10): 1585-1588.

32. Sorensen, H., Cedergreen, N., & Streibig, J.C. (2010). A random effects model for binary mixture toxicity experiments. *Journal of Agricultural, Biological and Environmental Statistics 15*(4): 562-577.
33. Spencer, N.R. (1984). Velvetleaf, *Abutilon theophrasti* (Malvaceae), history and economic impact in the United States. *Economic Botany 38*(4): 407-416.
34. Streibig, J.C., Jensen, J.E., Cobb, A.H., & Kirkwood, R.C. (2000). Actions of herbicides in mixtures. *Herbicides and their mechanisms of action*, 153-180.
35. Streibig, J.C., & Kudsk, P. (1993). *Herbicide bioassays*. CRC Press.
36. Streibig, J.C., Kudsk, P., & Jensen, J.E. (1998). A general joint action model for herbicide mixtures. *Pesticide Science 53*(1): 21-28.
37. Streibig, J.C. (1993). Dose-response curves and statistical models. *Herbicide Bioassay* 29-55.
38. Warwick, S.I., & Black, L.D. (1988). THE BIOLOGY OF CANADIAN WEEDS: 90. *Abutilon theophrasti*. *Canadian Journal of Plant Science 68*(4): 1069-1085.